GEOLOGIA

ENSAYO DE INTERPRETACION GEOFISICA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CARIBE

Luis Guillermo Durán S.

Laboratorio de Geología Experimental. Facultad de Geología,
Universidad Nacional, Bogotá.

ABSTRACT

This paper is an attempt to interpret the negative isostatic anomaly of the Western Caribbean Sea on the basis of the new criterion used by professor M. Ewing et al. in their interpretation of the island arc in Pto. Rico area. The proposed interpretation is a departure from the previous one generally accepted, which was based on the tectogene theory of professor H. H. Hess. In other words, the negative anomaly is attributed here to the sediments' thickenning and possible geosynclinal structure, rather than to deeper tectogenic deformation involving sial and sima. A geomorphologic interpretation of the Caribbean continental shelf is offered on this basis.

The interpretation is locally based on correlation of the isostatic anomaly values (pendulum) with surface gravimetric values (gravity meter) in the Colombian coastal area (near Barranquilla), as compiled by the International Geophysical Year's Colombian Gravity Committee, and general stratigraphic and structural data of the Atlantic coast.

A brief account and analysis of gravimetric principles and previous gravity works and their interpretations is given, especially in connection with isostasy and the general island arc problem. The paper aims mainly at encouraging interest toward cooperative research and further geophysical detail work in the Western (Colombian) Caribbean Sea area.

I. INTRODUCCION

> *"... La tierra, por tanto, el elemento por el cual los ríos transportan los flancos de las montañas y los llevan al mar, es el lugar del cual se quita tal gravedad; esto la hace más liviana y en consecuencia más distante del centro de gravedad de la tierra, esto es, del centro del universo, el cual es siempre concéntrico respecto al centro de gravedad de la tierra..."*
>
> LEONARDO DA VINCI,
> (Cuadernos de Notas, Ed. McCurdy, v. I, p. 344)

El estudio de las anomalías de la gravedad ha constituído desde hace unos 30 años una valiosa ayuda en la interpretación de las estructuras geológicas, tanto a escala regional, en el campo de la tectónica, como a escala más reducida, en el campo de la geología estructural de los yacimientos minerales. Los instrumentos empleados para el efecto fueron principalmente péndulos y balanzas de torsión al principio, y hoy casi exclusivamente el gravímetro.

En 1926 el geofísico holandés Vening Meinesz hizo extensas observaciones gravimétricas submarinas en las Indias Orientales (Indonesia), y con base en la anomalía isostática negativa que pudo localizar en una gran extensión, postuló el origen tectónico de los arcos de islas estudiados, interpretándolos como un gran plegamiento hacia abajo, de la corteza más liviana, de características especiales, al cual se le dio en geología el nombre de "tectógeno" (Fig. 5).

Estudios posteriores en las Antillas, y la localización de una anomalía isostática negativa paralela a este arco de islas en el Caribe, indujeron a geólogos y geofísicos a interpretar esta faja en forma similar a la de las Indias Orientales. Sin embargo, los estudios más recientes del "Lamont Geological Observatory" de la Universidad de Columbia, con ayuda de la sismología, han sugerido una interpretación diferente para estos arcos. El método sismológico consiste esencialmente en el análisis de la reflexión o la refracción, en las capas de la corteza terrestre, de las ondas producidas por explosiones efectuadas para tal fin. Los instrumentos empleados

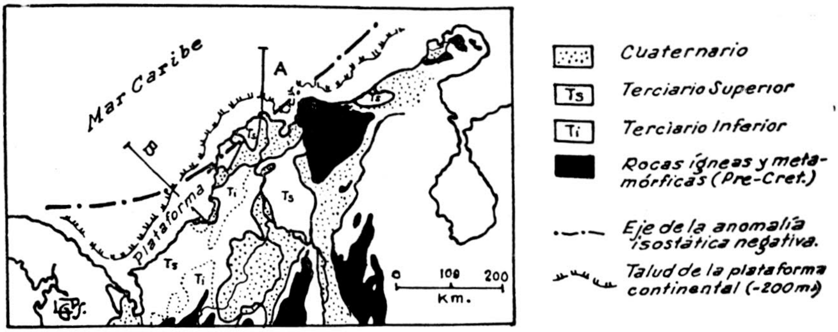
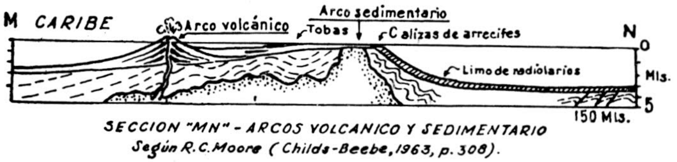

Mar Caribe
A
B
Plataforma
Ts
Ti
0 100 200
Km.
Cuaternario
Ts Terciario Superior
Ti Terciario Inferior
Rocas ígneas y metamórficas (Pre-Cret.)
Eje de la anomalía isostática negativa.
Talud de la plataforma continental (-200 m)

Fig. 1. *Croquis Geológico de Colombia Septentrional.*

Se indican la plataforma continental, el eje de la anomalía negativa y las secciones A y B de la Fig. 9.

(Basado en el mapa del Servicio Geológico Nacional)


M CARIBE
Arco volcánico
Arco sedimentario
Tobas
Calizas de arrecifes
N
0
Mls.
5
Limo de radiolarios
150 Mls.
SECCION "MN" - ARCOS VOLCANICO Y SEDIMENTARIO
Según R. C. Moore (Childs-Beebe, 1963, p. 308).

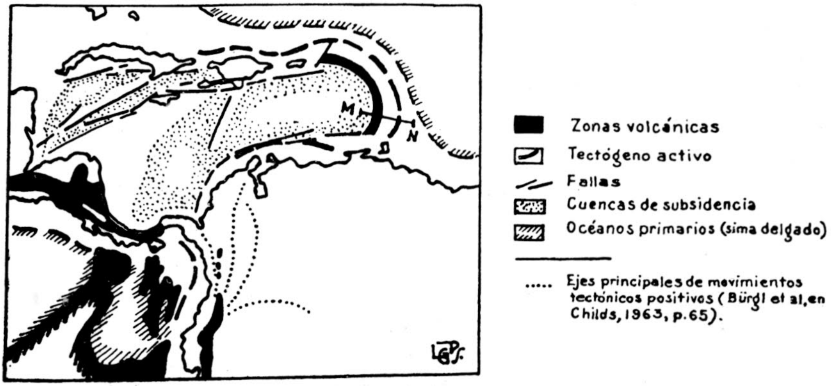

M
N
Zonas volcánicas
Tectógeno activo
Fallas
Cuencas de subsidencia
Océanos primarios (sima delgado)
Ejes principales de movimientos tectónicos positivos (Bürgl et al, en Childs, 1963, p. 65).

Fig. 2. *Características Tectónicas del Caribe.*

Tomado de Eardley, 1954, y Childs-Beebe, 1963.

son en este caso semejantes a los sismógrafos que se usan para el estudio de los terremotos (Fig. 7).

En el presente artículo se ofrece una interpretación de la estructura de la plataforma continental del Caribe, con base en los datos gravimétricos disponibles, pero apartándose de la teoría tradicional y ciñéndose a la nueva tendencia. El resultado es la clasificación de la plataforma en cuestión dentro de la 2ª y 3ª categorías discutidas y propuestas por el profesor Russell (Fig. 8).

II. PRINCIPIOS GENERALES

a) Teoría.

El valor teórico de la gravedad para un lugar cualquiera de la tierra depende principalmente de la latitud y de la elevación sobre el nivel del mar. La fórmula internacional que expresa dicho valor en "gales" es:

$$g = g_0 \left[1 + C_1 \operatorname{sen}^2 \phi - C_2 \operatorname{sen}^2 2 \phi + C_3 \cos^2 \phi \cos 2 (\lambda + C_4) \right]$$

en la cual g_0 es el valor de la gravedad en el ecuador, al nivel del mar, a una longitud 180 — C_4, ϕ la latitud, λ la longitud (positiva al W de Greenwich), y C_1, C_2, C_3 y C_4 son constantes relacionadas con la forma real del esferoide terrestre.

Para obtener el valor real de g, sin embargo, hay necesidad de introducir en cada lugar las correcciones denominadas de "aire libre", de "terreno", de "Bouguer" e "isostática".

Esta última corrección, la isostática, tiene especial importancia en geología, y se basa en la idea del "equilibrio isostático" de la corteza terrestre, sugerida desde mediados del siglo pasado por Pratt y Airy, y desarrollada posteriormente por Bowie, Heiskanen, Vening Meinesz y otros. El principio supone que en la corteza terrestre las masas continentales y las depresiones oceánicas se encuentran balanceadas, o tienden constantemente a equilibrarse como si estuvieran flotando en un medio plástico o viscoso, hasta una profundidad de unos 100 kilómetros, y que por lo tanto, en general, las masas continentales son, o tienden a ser, menos densas que las cuencas oceánicas. La isostasia constituye una de las más importantes leyes de la geología moderna, pero vale la pena tener en cuenta que aun cuando la teoría fue formulada en 1855 por Pratt, a raíz de los hallazgos de Airy (1854) en relación con desviaciones de puntos astronómicos en India (cercanías del Himalaya), ya Leonardo da

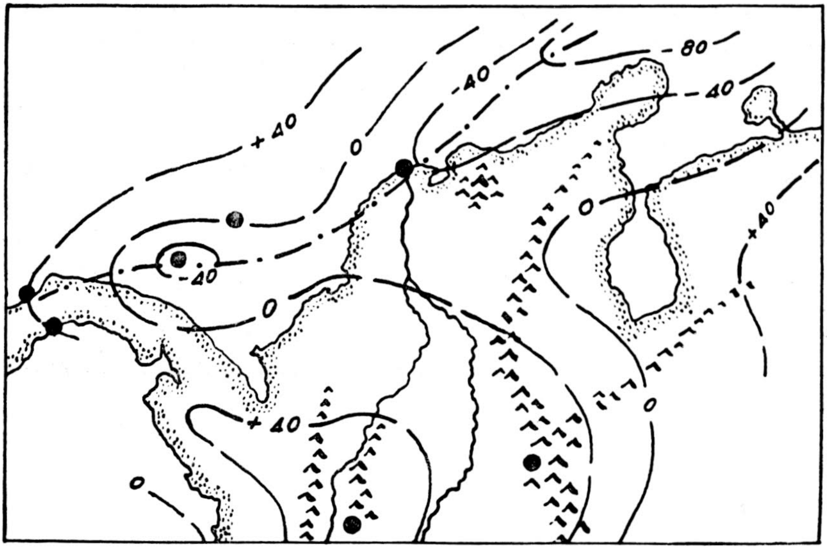

+40
0
-40
-80
-40
-40
0
0
+40
+40
0
0
0

Fig. 3. *Anomalía Isostática Negativa (Mgl.)*
(Aslakson-Swick, 1943)

Los círculos negros representan las estaciones de péndulo.

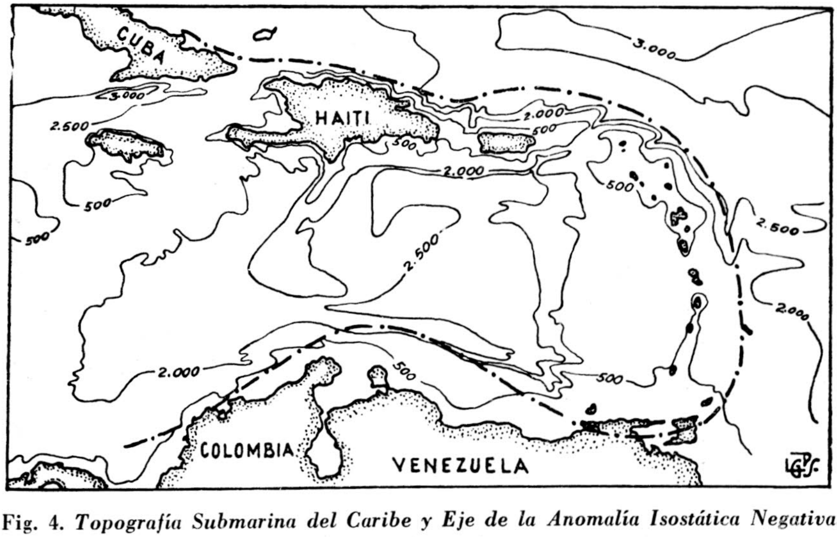

CUBA
HAITI
3.000
3.000
2.500
500
500
2.000
500
2.000
500
2.500
2.500
2.000
2.000
500
500
COLOMBIA
VENEZUELA

Fig. 4. *Topografía Submarina del Caribe y Eje de la Anomalía Isostática Negativa.*
Profundidades en brazas.

(Tomado de Daly, 1940, con modificaciones)

Vinci, en el siglo XV, había consignado en sus notas, observaciones que contienen la esencia de la idea de la isostasia. Estas notas pasaron aparentemente inadvertidas hasta 1940, cuando J. P. Delaney llamó la atención sobre ellas en su artículo publicado en "Science" (Bowie, 1927, p. 146; Daly, 1940, pp. 36, 352).

La anomalía isostática es, pues, la medida de la desviación de las masas de la corteza terrestre respecto del estado de equilibrio teórico que la isostasia supone, y puede ser por lo tanto positiva o negativa, y se la expresa en miligales (Mgl.). Si se postulan las condiciones de isostasia, deben calcularse para cada estación observada los efectos de las deficiencias de masa bajo las elevaciones y los excesos de masa bajo las depresiones. Si llamamos I a todos estos efectos isostáticos, la gravedad isostática será:

$$g_i = g_o - Kh + (Bh - T) - I$$

y la anomalía isostática será $g_o - g_i$. En estas expresiones g_o es la gravedad calculada al nivel del mar, y Kh, Bh y T son, respectivamente, los efectos de aire libre, de Bouguer y de terreno, en cuyo cálculo intervienen masas, densidades, elevaciones y distancias, según fórmulas y procedimientos especiales (Lejay, 1947, p. 95; Heiskanen, 1958, p. 124).

En el caso de la investigación con sismógrafo, como la dirigida por el doctor Ewing (1957), se emplea un método desarrollado después de la segunda guerra mundial, según el cual las ondas producidas por explosiones de dinamita bajo el agua se transmiten al fondo oceánico, el cual las refleja o las refracta de la misma manera que las ondas sísmicas de los terremotos (Fig. 7). Estas ondas son registradas en dispositivos muy sensibles instalados en un barco adecuado, y el análisis de los sismogramas permite calcular espesores, profundidades y buzamientos de las capas submarinas, en función del tiempo de llegada de las ondas a los detectores, los coeficientes de velocidades de transmisión y las posiciones relativas de los puntos de explosión y los dispositivos registradores. Empleando este sistema se ha logrado determinar la estructura y constitución de la corteza terrestre submarina, y se han establecido sus relaciones y contrastes con la corteza continental (Scheidegger, 1953; Wilson, 1959, p. 298; Shepard, 1963, p. 422).

b) Aplicaciones.

En 1926-32, Vening Meinesz (Kuenen, 1936; Heiskanen, 1958, pp. 341, 373) hizo observaciones submarinas en las Indias Orientales que le per-

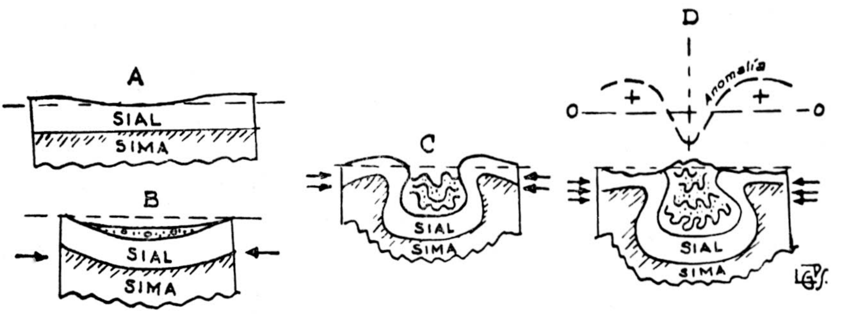

A
SIAL
SIMA
B
SIAL
SIMA
C
SIAL
SIMA
D
Anomalía
+
+
0
0
SIAL
SIMA

Fig. 5. *Evolución del "Tectógeno" y Anomalía Isostática.*

A Fase inicial.
B Se inicia el plegamiento.
C Plegamiento avanzado; expulsión de los sedimentos de la cuenca.
D Relieve final de sedimentos livianos (islas); anomalía isostática negativa.

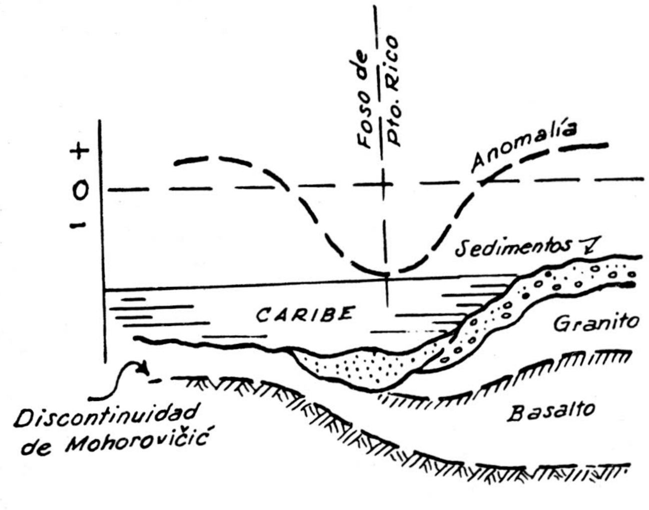

Foso de Pto. Rico
+
0
-
Anomalía
Sedimentos
CARIBE
Granito
Basalto
Discontinuidad de Mohorovičić

Fig. 6. *El Foso de Puerto Rico.*

Según la interpretación sísmica de Ewing y posición relativa de la anomalía isostática negativa.

mitieron localizar la faja de la anomalía isostática negativa en aquella comarca, la cual fue interpretada tectónicamente como un largo plegamiento encorvado que en una fase avanzada de su evolución comprimió y expulsó los sedimentos encerrados en su concavidad, dando origen a elevaciones (islas) más livianas que las zonas adyacentes más bajas (mares) (Daly, 1940, p. 290; Boucart, 1947, p. 115; Metz, 1957, p. 215).

En 1930 el profesor Harry H. Hess (1938) de la Universidad de Princeton, acometió en el "Barracuda" el estudio gravimétrico submarino del Caribe oriental, en el arco insular Haití-Trinidad, y halló una faja de anomalía isostática negativa semejante a la de las Indias Orientales, y con base en ella postuló para el arco del Caribe una estructura semejante al indonesio (Daly, 1942, p. 82; Benioff, 1954; Kraus, 1959, p. 114).

III. LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CARIBE

a) Datos geológicos.

La interpretación de la plataforma continental del Caribe propuesta en este trabajo es esencialmente morfológica (aun cuando sugiere también una estructura generalizada) y por ello no se discutirán aquí los detalles genéticos o tectónicos que dicha interpretación puede implicar. A título de información complementaria, no obstante, se hacen a continuación algunas breves consideraciones geológicas sobre la comarca del Caribe, basadas principalmente en las publicaciones de Eardley, Hatfield, Bürgl y Moore.

El mapa de la Fig. 1 (Bürgl, 1961) muestra la distribución de las formaciones geológicas que rodean el Caribe en territorio colombiano; en él se han localizado aproximadamente el talud de la plataforma continental (isobática de 200 m.), el eje de la anomalía isostática negativa y las secciones A y B de la Fig. 9. En la primera de estas secciones se ven la estructura y la estratigrafía generalizada (Hatfield, 1958) que sirvieron de base, en las proximidades de Barranquilla y de la isla de Salamanca, para correlacionar la anomalía isostática con los valores gravimétricos de la costa atlántica, según fueron suministrados por la Texas Petroleum Co. al Comité de Gravimetría Colombiano del A. G. I. (1957).

El croquis de la Fig. 2, tomado de Eardley (1954) y complementado con datos de Jacobs, Bürgl y Conley (Childs-Beebe, 1963, p. 65), representa las condiciones tectónicas del Caribe y las comarcas adyacentes.

Según Eardley, las fajas marginales del Atlántico y del Pacífico de origen Paleozoico parecen emerger en Méjico central y meridional, y lué-

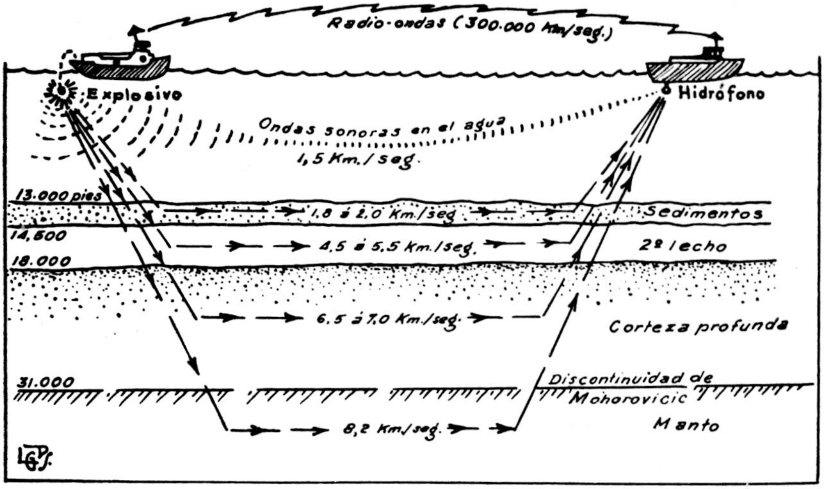

Radio-ondas (300.000 Km/seg.)
Explosivo
Hidrófono
Ondas sonoras en el agua
1,5 Km./seg.
13.000 pies
1,8 á 2,0 Km./seg
Sedimentos
14,500
4,5 á 5,5 Km./seg.
2º lecho
18.000
6,5 á 7,0 Km./seg.
Corteza profunda
31.000
Discontinuidad de Mohorovicic
8,2 Km./seg.
Manto
LGDJ.

Fig. 7. *El Método Sísmico de Investigación Submarina.* (Tomado de Bascom, "A Hole in the Bottom of the Sea", Doubleday Co., 1961, ligeramente modificado).

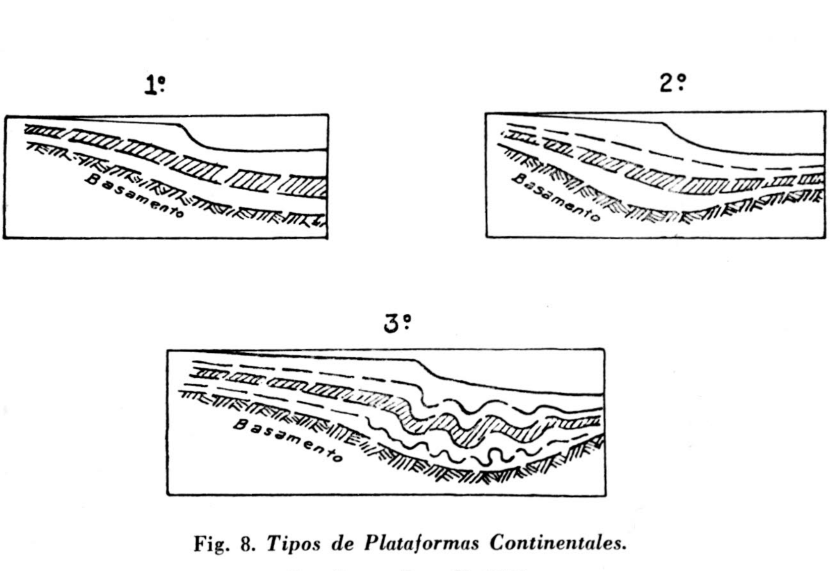

1º
Basamento
2º
Basamento
3º
Basamento

Fig. 8. *Tipos de Plataformas Continentales.*

Basado en Russell, 1954.

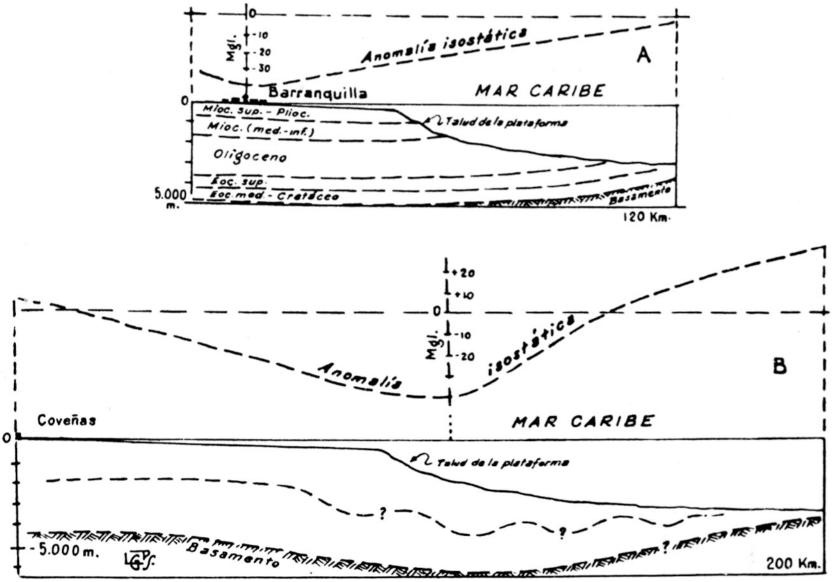
go como una sola faja que viene a aparecer en Jamaica y Haití, virando después fuertemente hacia el sur, incluyendo el filo sumergido de Beata y conectando el núcleo metamórfico de los Andes de Venezuela y Colombia. Una faja orogénica Jurásica-Cretácica sale de Centroamérica y continúa por las Antillas a Trinidad y Venezuela hasta conectarse con la faja principal colombiana. Esta faja comprende dos tectógenos originados principalmente en el Mesozoico. Durante el Eoceno se originó el tercer tectógeno, ubicado en el arco de Puerto Rico y las Antillas Menores, el cual continúa activo actualmente. Las cuencas oriental y occidental del Caribe se deben a subsidencia en el Terciario medio y superior, y en el Cretáceo y el Terciario inferior, respectivamente.

Eardley postula el siguiente ciclo orogénico para la comarca del Caribe: 1) Levantamiento epirogénico general de una región central y sedimentación en las cuencas adyacentes; 2) Deformación por compresión en las cuencas adyacentes, constituyendo una faja de orogénesis principal, y 3) Subsidencia de la región original de levantamiento, produciendo cuencas con aguas profundas en algunas partes, cuyas zonas marginales pronto empezaron a recibir intensa sedimentación.

b) Interpretación geofísica.

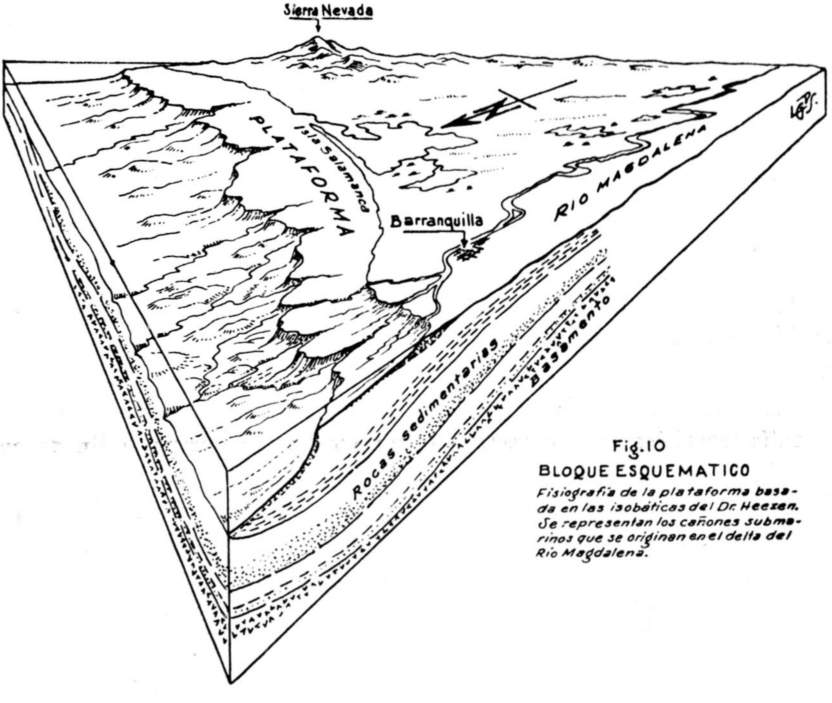
El arco insular del Caribe, que coincide con la anomalía isostática negativa de Hess (Fig. 4) ha sido interpretado por este autor (Hess, 1938) según el principio del tectógeno (Fig. 5). Sin embargo, los trabajos sismográficos llevados a cabo en el "Vema" por el doctor Maurice Ewing, Director del Lamont Geological Observatory de la Universidad de Columbia, y sus colaboradores (M. Ewing, 1954; J. I. Ewing, et al., 1957) en el Caribe oriental (Puerto Rico - Barbados), le permitieron formular una interpretación diferente, según la cual la fuerte anomalía isostática negativa corresponde más bien a un considerable espesor de sedimentos y una consiguiente profundidad apreciable del basamento cristalino, como puede verse en la sección simplificada del foso de Puerto Rico, en la Fig. 6.

Como los estudios del doctor Ewing son sismográficos, y éstos suponen mayor precisión en cuanto a la naturaleza de las rocas y las profundidades, además de las condiciones estructurales, en el presente trabajo se acoge esta misma interpretación para el Caribe colombiano, en lugar de la gravimétrica, de carácter más ambiguo por su naturaleza (Skeels, 1947), y se supone que la anomalía isostática negativa paralela a la costa del Caribe colombiano corresponde a un fenómeno estructural semejante al supuesto por el doctor Ewing y sus colaboradores en la zona de Puerto



0
Mgl.
-10
-20
-30
Anomalía isostática
A
Barranquilla
MAR CARIBE
0
Mioc. sup. - Plioc.
Mioc. (med.-inf.)
Talud de la plataforma
Oligoceno
Eoc. sup.
Eoc. med. - Cretáceo
Basamento
5.000 m.
120 Km.
+20
+10
0
Mgl.
-10
-20
Anomalía isostática
B
Coveñas
MAR CARIBE
0
Talud de la plataforma
?
?
?
-5.000 m.
LGPS.
Basamento
200 Km.

Fig. 9. *Perfiles "A" y "B" (Barranquilla y Coveñas) de la Faja de la Anomalía Negativa y de la Plataforma.*



Sierra Nevada
N
LGPS.
PLATAFORMA
Isla Salamanca
RIO MAGDALENA
Barranquilla
Rocas sedimentarias
Basamento

Fig.10

BLOQUE ESQUEMATICO

Fisiografía de la plataforma basada en las isobáticas del Dr. Heezen. Se representan los cañones submarinos que se originan en el delta del Río Magdalena.

Rico. Esta nueva interpretación se basa en la correlación hecha por el autor, entre la anomalía isostática, valores gravimétricos de la costa atlántica y la geología local de la misma, en la zona donde los tres tipos de datos concurren, cerca de Barranquilla y la isla de Salamanca. Allí las curvas isogálicas terrestres (gravímetro) coinciden sensiblemente, cualitativa y cuantitativamente, con el eje negativo, y corresponden a un espesor aproximado de 4.000 a 5.000 metros de la columna sedimentaria, en reposo sobre el basamento cristalino, y en posición sinclinal muy suave. En suma, el autor cree que en el Caribe colombiano la faja de la anomalía isostática negativa refleja la posición y profundidad relativa del contacto de los sedimentos con el basamento, en función de su contraste de densidades, en lugar de reflejar anomalías más profundas de las capas "siálica" y "simática" de la corteza, como supone la teoría del tectógeno.

Las plataformas continentales, según se ha observado en casi todo el mundo, pueden clasificarse de una manera general en los tres tipos o categorías ilustrados en la Fig. 8, de acuerdo con el profesor Russell (1955). Teniendo en cuenta la estratigrafía regional de la costa atlántica (Hatfield, 1958), la plataforma del Caribe pertenecería a la segunda y tercera clases, y tendría la estructura y morfología generalizadas que se ilustran en la Fig. 9. Según esto, el eje de la anomalía isostática negativa correspondería a la máxima depresión del basamento y al máximo espesor de la columna sedimentaria. Como se ve, el eje de la anomalía correspondería a un gran sinclinal, pero lo más probable es que se trate de un sinclinorio, teniendo en cuenta las características de las plataformas de este tipo (Fig. 8, 3º), y es probable por lo tanto que se presenten numerosos plegamientos, y aun fallas, dentro de esta estructura principal (Russell, 1955, p. 343; Guilcher, 1957, p. 215). Debe observarse, además, la migración del eje del sinclinorio hacia el mar, progresivamente de oriente a occidente. En efecto, en la sección A (Barranquilla) dicho eje coincide casi con la costa, en tanto que en la sección B (Coveñas) se encuentra a unos 110 kilómetros mar adentro (Figs. 1 y 3).

Estudios más detallados podrían precisar la posición del eje de la anomalía isostática con respecto a la topografía submarina, a fin de concretar las posibilidades económicas que podrían interesar a la industria del petróleo, pues a este respecto es fundamental que las profundidades oceánicas excesivas no impidan la perforación, al menos con los equipos y técnicas usados actualmente (Russell, 1955, p. 347). El Laboratorio de Geología Experimental de la Facultad de Geología está adelantando gestiones con el doctor M. Ewing, tendientes a una investigación geofísica completa del Caribe colombiano, trabajo que representaría una importante cooperación entre el Observatorio Lamont, de la Universidad de Columbia, la Universidad Nacional, y probablemente la Universidad de Bogotá "Jorge Tadeo Lozano".

Un hecho importante sobre el cual se llama la atención en el presente trabajo es el de la posición general verdadera de la anomalía isostática negativa en discusión, en el Caribe colombiano. Dicho eje no se interna, como se muestra en algunos mapas, en el continente, en la zona de Barranquilla, sino que de allí sigue hacia Urabá bastante alejado de la costa, según los datos de las observaciones de péndulo verificadas por el U. S. Coast and Geodetic Survey y el Instituto Geográfico de Colombia en 1943 (Aslakson-Swick, 1943; Fig. 3).

En cuanto a la fisiografía de la plataforma (Fig. 10), en la presente interpretación se tuvieron en cuenta y se utilizaron las isobáticas de las cartas al millonésimo de la Marina Americana y las del mapa de la American Geographical Society, en las cuales el talud de la plataforma está más o menos definido por la curva de los –200 metros. Se utilizó además el trabajo de mayor detalle elaborado en la zona de Barranquilla por el doctor Heezen (1956), colaborador también del doctor Ewing. En el mapa de Heezen aparecen inclusive localizados los cañones submarinos más importantes (véase también la carta batimétrica, estructural y gravimétrica en Butterlin, 1956, pp. 5-6).

BIBLIOGRAFIA SELECCIONADA

Aslakson, C. I., Swick, C. H. — *Gravity Observations in Perú and Colombia.* U. S. Gov. Printing Office, Sp. Pbl. 233, 1943.

Benioff, H. — *Orogenesis and Deep Crustal Structures - Additional Evidence from Seismology.* Bull. Geol. Soc. of America, Vol. 65, May. 1954.

Boucart, J. — *Géographie du Fond des Mers.* Payot, Paris, 1949.

Bowie, W. — *Isostasy.* Dutton & Co., 1927.

Bürgl, H. — *Historia Geológica de Colombia.* Rev. Acad. Col. de Ciencias, Vol. 11, Nº 43, Ag. 1961.

Butterlin, J. — *La Constitution Géologique et la Structure des Antilles.* Centre Nat. de la Recherche Scientifique, Paris, 1956.

Childs, O. E., Beebe, B. W. — *Backbone of the Americas* (Symposium). Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Memoir 2, 1963.

Cotton, C. A. — *Deductive Morphology and Genetic Classification of Coasts.* The Scientific Monthly, Vol. 78, Nº 3, March 1954.

Daly, R. A. — *Strength and Structure of the Earth.* Prentice Hall, Inc., 1940.

Daly, R. A. — *The Floor of the Ocean.* The Univ. of North Carolina Press, 1942.

EARDLEY, A. J. — *Tectonic Relations of North and South America.* Bull. Amer, Assoc. of Petroleum Geologists, Vol. 38, May 1954.

EWING, M., WORZEL, J. L. — *Gravity Anomalies and Structure of the West Indies.* Bull. Geol. Soc. of America, Vol. 65, Nº 2, Febr. 1954.

EWING, M., HEEZEN, B. C. — *Pto. Rico Trench; Topographical and Geophysical Data,* en *Crust of the Earth.* Ed. Poldervaart, Geol. Soc. of America, Sp. Pbl. 62, Aug. 1955.

EWING, J. I., OFFICER-JOHNSON-EDWARDS. — *Geophysical Investigations in the Eastern Caribbean.* Bull., Geol. Soc. of America, Vol. 76, July 1957.

GUILCHER, A. — *Morfología Litoral y Submarina.* Ed. Omega, Barcelona, 1957.

HATFIELD, W. C. — *Colombia's Geological Features.* The Petr. Engineer, Febr. 1958.

HEEZEN, B. C. — *Corrientes de Turbidez del Río Magdalena, Colombia.* Bol. Soc. Geogr. de Colombia, Vol. 14, Nos. 51-52, 1956.

HEISKANEN, W. A., VENING MEINESZ, F. A. — *The Earth and its Gravity Field.* McGraw Hill Book Co., 1958.

HESS, H. H. — *Gravity Anomalies and Island Arc Structures, with Particular Reference to the West Indies.* Proc. Amer. Philo. Soc., Vol. 79, 1938.

HESS, H. H. — *Outstanding Problems of Caribbean Geology.* Trans. Second Caribbean Geol. Conference, Univ. of Pto. Rico, 1960.

JACOBS, J. A., RUSSELL, R. D., WILSON, J. T. — *Physics and Geology.* McGraw-Hill Book Co., 1959.

KRAUS, E. — *Die Entwicklungsgeschichte der Continente und Ozeane.* Akademie-Verlag, Berlin, 1959.

KUENEN, PH. H. — *Negative Isostatic Anomalies in the East Indies* (with experiments). Leidsche Geologische Mededeelingen, Vol. 8, Nº 2, 1936.

LEJAY, P. — *Développements Modernes de la Gravimétrie.* Gauthier-Villars, Paris, 1947.

METZ, K. — *Lehrbuch der Tektonischen Geologie.* Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart, 1957.

RUSSELL, W. L. — *Structural Geology for Petroleum Geologists.* McGraw-Hill Book Co., 1955.

SCHEIDEGGER, A. E. — *Examination of the Physics of Theories of Orogenesis.* Bull. Geol. Soc. of America, Vol. 64, Febr. 1953.

SHEPARD, F. P. — *Submarine Geology.* Harper & Brothers, 2nd. Ed., 1963.

SKEELS, D. C. — *Ambiguity in Gravity Interpretations.* Geophysics, Vol. 12, Jan. 1947.

VAN BEMMELEN, R. W. — *Geology and Geophysics.* Geologie en Mijnbouw, Dic. 1962.